

2026 年度自然资源科学技术奖提名项目公示

项目名称	深部矿井热害防治与煤热共采关键技术与应用
院士推荐	中国科学院院士 汪集暘
主要完成人	1 孔彦龙、2 刘业献、3 龚宇烈、4 蔺文静、5 周楠、6 段忠丰、7 张伟尊、8 罗娜宁、9 赵永哲、10 李百宜、11 叶灿滔、12 蒋同昌、13 何泽平、14 韩永亮、15 余鸣潇
主要完成单位	1 中国科学院地质与地球物理研究所、2 山东能源集团西北矿业有限公司、3 中国科学院广州能源研究所、4 中国地质科学院水文地质环境地质研究所、5 中国矿业大学、6 中国石油大学（华东）、7 陕西煤田地质勘查研究院有限公司、8 中煤科工西安研究院（集团）有限公司、9 安徽省勘查技术院（安徽省地质矿产勘查局能源勘查中心）
推荐意见：本人认真审阅了“深部矿井热害防治与煤热共采关键技术与应用”项目推荐书及相关附件材料。该成果面向深部煤矿高温热害防治、煤田地热资源开发利用和煤炭行业绿色低碳转型需求，聚焦深部煤矿热害成因复杂、传统机械降温能耗高、低品位冷热资源利用不足、煤热共采协同模式不完善等关键问题，研究目标明确，技术路线系统，具有较强的工程针对性和行业推广价值。 项目揭示了深部煤矿全生命周期聚热机制，建立了分尺度多热源煤田地热资源评价方法，评价我国主要赋煤区地热资源储量；形成了自然冷源与地下采空区协同耦合的深部矿井绿色热害治理技术，提升系统综合能效，降低成本；构建了采动空间智慧化利用的煤热共采新模式。上述成果在热害成因识别、绿色热害治理和煤热共采模式构建方面具有创新性。成果已在西北、华北、华东、华中等典型煤矿区开展工程应用和推广，在改善井下热环境、提高煤田地热资源利用效率、降低传统能源消耗和减少碳排放等方面取得了较好效果，经济、社会和生态效益明显。 本人认为，该成果创新点明确，技术体系完整，应用效果显著，符合自然资源科学技术进步奖授奖条件，同意推荐申报自然资源科学技术进步奖，建议推荐等级为一等奖或二等奖。	
成果简介：我国千米煤矿已达 60 余座，开采深度已突破 1500m，工作面最高温度达 53℃。随着煤矿开采深度不断增加，深部矿井高温热害问题日益突出，严重影响井下安全生产、作业环境和能源利用效率。近年来，国家持续推进矿业绿色转型，发布《关于进一步加强绿色矿山建设的通知》、《关于推进煤炭与新能源融合发展的指导意见》等一系列政策，鼓励煤矿开展井下地热与余热资源化利用，依托煤热共采实现热害治理与新能源开发协同，助力绿色矿山建设、煤炭与新能源融合发展。高温热害一方面是制约深部煤矿安全高效开采的灾害因素，另一方面，深部地层热、围岩热、矿井涌水热和乏风余热等低品位热能也是煤矿区重要的伴生能源资源。煤矿区具有煤炭资源与地热资源空间共存、采掘活动与热量迁移过程相互耦合、矿井工程系统与地下空间资源可协同利用等特点，具备开展热害防治与煤田地热资源协同开发的基础条件。针对现有煤矿热害治理与煤田地热资源开发相互脱节，热害成因认识不足、低品位冷热资源利用不充分、煤热共采模式不完善等问题，项目开展深部矿井热害防治与煤热共采关键技术与应用研究，对改善煤矿井下热环境、提升矿区能源综合利用水平、推动煤炭行业绿色低碳转型具有重要意义。 本项目形成了“识热评热-控热用热-煤热共采”的成套技术体系。主要创新包括：①揭示了深部煤矿全生命周期聚热新机制，提出煤田地热系统动力学概念，划分 4 种煤田地热聚热模式，阐明了采前、采中、采后热害主控因素，构建了分尺度多热源资源评价方法，系统评价了我国主要赋煤区地热资源储量约 1.12×10^{19} kJ，折合标准煤 3795.39 亿吨；②	

形成了自然冷源与地下采空区协同耦合的深部矿井绿色热害治理技术，建立基于室外湿球温度、井下冷负荷和供回水温度的分工况协同供冷与井下精准降温调控方法，系统 COP 提升 14.1%以上，运行成本降低 12.2%，投资成本下降 40%以上，节能效率最高可达 48.5%；③构建了采动空间智慧化利用的煤热共采新模式，形成采动空间功能化、取储热协同和智能算法优化相结合的技术路径，实现典型充填采场季节性储热能力约 23 GWh、将传统技术热回收率从 40%提升至 60%以上，研发新型相变蓄热功能充填材料，导热系数和比热容分别提高 75.7%和 111.9%，大幅提升储热能力。

成果已在西北、华北、华东、华中等典型煤矿区开展工程应用和推广，应用内容涵盖高温热害成因识别、井下设备冷却、矿井涌水冷热资源利用、矿区清洁供暖、生活热水制备和煤热共采方案优化等方面。成果应用以来，累计服务矿区供暖面积约 34.38 万 m²，节约标准煤约 5.48 万吨，减少二氧化碳排放约 23.25 万吨，产生经济效益约 3.3 亿元，为煤矿高温环境下安全高效生产提供了技术支撑，累计保障煤炭安全生产约 3000 万吨。

客观评价：本成果围绕深部矿井热害防治与煤田地热资源综合利用，形成了“识热评热-控热用热-煤热共采”的技术体系，在深部煤矿全生命周期聚热机制揭示、煤田分尺度多热源资源评价、自然冷源与地下空间协同耦合绿色热害治理和采动空间智慧化利用煤热共采等方面取得了系统性进展。成果已在西北、华北、华东、华中矿区等多家煤矿开展应用，支撑了深部煤矿井下热环境改善、矿井低品位冷热资源利用和矿区清洁供暖，具有较好的应用效益和经济社会价值。

国内外深部矿井热害治理通常以通风降温、机械制冷、冰冷降温、局部冷却等末端治理技术为主，能够在一定程度上改善井下作业环境，但普遍存在冷源获取方式单一、系统能耗高、运行成本高、与矿井低品位冷热资源利用衔接不足等问题。现有矿山地热利用多集中于矿井水取热、单一热储开发、局部供暖或采后地下空间储热，对采前、采中、采后全过程热量形成、迁移和利用过程考虑不足，尚未形成热害成因识别、绿色热害治理、采动空间取储热和煤热共采协同应用的系统化技术路径。

与上述技术相比，本成果揭示了深部煤矿全生命周期聚热机制，建立了采前聚热模式、采中热害成因和采后热资源归趋相衔接的热害成因识别方法；形成了自然冷源耦合矿井涌水的多源协同制冷技术、分工况协同供冷与井下精准降温调控方法、采空区冷热储能与井下热害协同防控模式，推动矿井热害治理由单一机械制冷向多源低碳降温转变；构建了“采动空间功能化-取储热协同-智能算法优化”的煤热共采新模式，实现采动空间由采后空间向地下能源单元转变。成果在技术路线、系统集成和工程应用模式方面具有明显特色。

成果在西北彬长矿区多个煤矿开展工程应用和推广，应用内容涵盖高温热害识别、井下冷却、矿井涌水换热和矿区清洁供暖应用和自然冷源协同制冷方案设计，形成了热害防治、绿色降温和清洁供暖相结合的典型示范。成果能够有效提高矿井水热资源和煤田地热资源利用效率，降低传统能源消耗和运行费用，改善矿区供能结构，对矿区节能降碳和绿色低碳发展具有积极作用。根据应用数据测算，成果累计服务矿区供暖面积约 34.38 万 m²，节约标准煤约 5.48 万吨，减少二氧化碳排放约 23.35 万吨，节约运行费用约 1.4 亿元，为深部煤矿高温环境下安全高效生产提供了技术支撑。

成果相关研究在煤田地热资源开发利用、深部矿井热害防治、矿井冷热资源利用、采动空间取储热和功能充填材料等方面形成了论文、专利、软件著作权等成果。相关论文发表于《煤田地质与勘探》、Journal of Cleaner Production、Journal of Energy Storage、Geothermics 等学术期刊，围绕煤田区聚热模式、煤田地热资源评价、深部煤矿地热能可持续利用、采动空间储能和相变蓄热功能充填材料等内容进行了公开发表，并被国内外同行引用和评价。德国弗赖贝格工业大学水文地质与水文地球化学教授、MineATES 项目总

负责人 Traugott J. Scheytt 在 *Journal of Energy Storage* 发表的矿山地下储热现场研究中引用本成果，认为相关成果为 MineATES 项目提供了技术可行性支撑；英国杜伦大学地球科学系教授、原 EGU 分会主席、GEMS 项目负责人 Jeroen van Hunen 在 *Applied Energy* 发表的 GEMSToolbox 研究中引用本成果，认为相关成果为煤热共采提供了新路径，提升了充填采区综合利用价值；中国矿业大学（北京）武强院士团队在 *Engineering* 发表的煤-水-热协同开发和生态化开采的研究中引用本成果，认为相关成果为煤热共采提供了技术框架。

八、主要知识产权和标准规范等目录

知识产权 (标准)类别	知识产权 (标准) 具体名称	国家 (地区)	授权号 (标准 编号)	授权 (标准 发布) 日期	证书编号 (标准批 准发布 部门)	权利人 (标准 起草 单位)	发明人 (标准 起草 人)	发明专利 (标准) 有效 状态
发明专利	矿井采空区地热储能协同工作面降温系统及控制方法	中国	ZL202610294082.8	2026 年 09 月 04 日	第 9246652 号	中国科学院广州能源研究所	叶灿滔，陆振能，姚远，龚宇烈	有效
发明专利	一种煤矿巷道悬挂定位式双孔多排梯级降温装置及方法	中国	ZL202510873404.X	2025 年 09 月 09 日	第 8240525 号	中国矿业大学	刘恒凤，郭嘉豪，张吉雄，李百宜，孙强，方坤，李佳龙	有效
发明专利	一种深部矿山水热型地热能循环与煤层协同开采系统	中国	ZL202010526710.3	2022 年 1 月 4 日	第 4878288 号	中国矿业大学	张吉雄，孙强，周楠，李猛，刘恒凤	有效

发明专利	一种充填体内采热管路预留系统及其设计方法	中国	ZL 2021 1 013333 2.7	2022 年 5 月 31 日	第 5192972 号	中国矿业大学	周楠，张吉雄，朱存利，李猛，孙强	有效
发明专利	一种充填开采工作面埋管取热高效数值计算方法	中国	ZL 2022 1 167746 5.1	2026 年 05 月 05 日	第 8924059 号	中国矿业大学;淮北矿业股份有限公司	李百宜，张吉雄，丁鹿玮，李忠凯，金学良，孙志辉，马嘉源	有效
软件著作权	煤田地热资源储量计算软件 V1.0	中国	2026SR 068992 5	2026 年 6 月 26 日	软著登字第 17904206 号	山东能源集团西北矿业有限公司;中国科学院广州能源研究所;中国科学院地质与地球物理研究所;中国矿业大学（北京）		有效

软件著作权	地热计算机 V1.0	中国	2020SR 094250 7	2020 年 06 月 30 日	软著登字第 5821203 号	中国科学院地质与地球物理研究所		有效
发明专利	一种提升水热型地热井群采灌效率的方法	中国	ZL 2022 1 010348 5.1	2024 年 11 月 22 日	第 7542732 号	陕西煤田地质勘探研究院有限公司	罗娜宁，申小龙，刘军，赵真，任海香，贾志刚，宋一民，王伟，李浩，王嘉彬	有效
发明专利	饱和介质下溶质运移中磁信号检测的大型实验装置及方法	中国	ZL 2021 1 013029 9.2	2021 年 11 月 30 日	第 4826617 号	中国科学院地质与地球物理研究所	任亚倩，宋伟，孔彦龙，程远志，曹长乾	有效
发明专利	地熱田深部熱源メカニズムの探査方法、システム及び電子機器	日本	特许第 742120 1 号	2024 年 1 月 16 日		中国科学院地质与地球物理研究所	程远志，李永东，孔彦龙，李义曼	有效